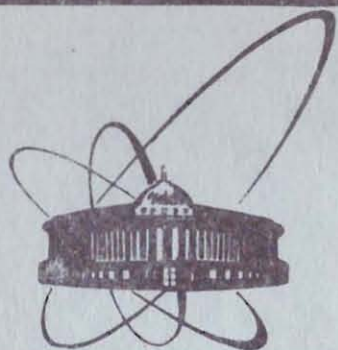


84-548



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P8-84-548

Е.И.Дьячков, В.Н.Кузичев, Г.Г.Ходжибагиян

САТЕЛЛИТНЫЙ РЕФРИЖЕРАТОР  
ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МАГНИТОВ  
С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ

Доклад на 10-й Международной конференции  
по криогенной технике, Хельсинки, июль, 1984 г.

1984

## ВВЕДЕНИЕ

При испытаниях сверхпроводящих магнитов циркуляционного типа /см., например <sup>1-3/</sup> / весьма важным является упрощение их криогенного обеспечения. Это достигается с помощью спутникового рефрижератора, работающего по дроссельной схеме без детандеров. Такой рефрижератор обладает высокой надежностью, позволяет ускорить процесс охлаждения магнитов до рабочей температуры и легко переходить с одного режима работы на другой, не требует высококвалифицированного обслуживающего персонала.

Для проведения стендовых испытаний полномасштабных магнитов разрабатываемого в ОИЯИ сверхпроводящего ускорителя нуклотрон <sup>1,4/</sup> был создан описываемый ниже спутнический рефрижератор.

## КОНСТРУКЦИЯ ТЕПЛООБМЕННИКА

При создании рефрижератора нами были выполнены следующие основные требования:

- 1/ холодопроизводительность при температуре 4,5 К - 50 Вт;
- 2/ размещение теплообменника рефрижератора в имеющемся вертикальном криостате - с внутренним диаметром 0,8 м и высотой 2 м;
- 3/ перепад давления в обратном потоке теплообменника -  $\Delta p \leq 0,02$  МПа. Это требование обусловлено тем, что криостатирование магнитов осуществляется потоком двухфазного гелия;
- 4/ простота конструкции теплообменника, не требующая специального оборудования для его изготовления.

Теплообменник спутника диаметром 780 мм и высотой ~1 м состоит из семи секций, последовательно соединенных между собой. Секция теплообменника /рис.1/ представляет собой шестизаходную спираль из трубок для пря-

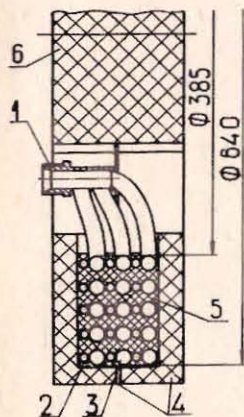


Рис.1. Секция теплообменника. 1 - разъемное соединение, 2 - трубка для прямого потока, 3 - трубка для обратного потока, 4 - пенопластовая обойма, 5 - волокнистый теплоизоляционный материал, 6 - пенопластовый цилиндр.



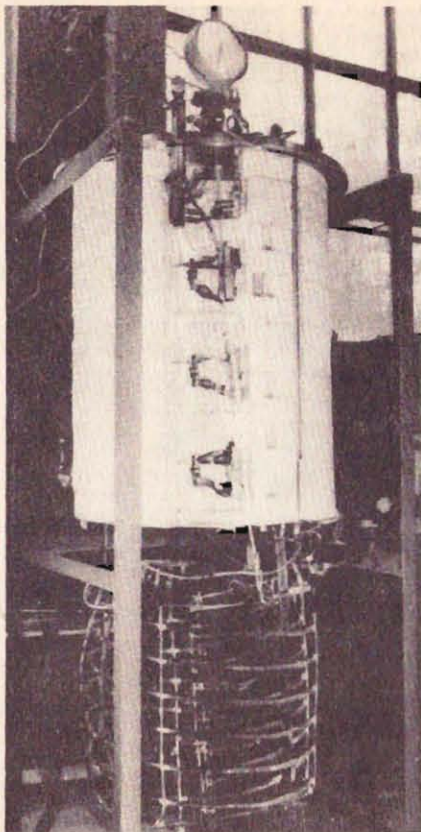


Рис.2. Теплообменник спутни-  
ного рефрижератора.

мого и обратного потоков. На входе и выходе обоих потоков из секции имеются газовые коллекторы, заканчивающиеся разъемным соединением. Для обеспечения теплового контакта трубки прямого и обратного потоков спаяны между собой. Волокнистый теплоизоляционный материал в пространстве между витками спирали и пенопластовые обоймы служат для уменьшения радиальной и осевой теплопроводности теплообменника. Во всех семи секциях для прямого потока использовалась медная трубка  $\varnothing 8 \times 1$  мм. Для обратного потока в шести секциях использовалась медная трубка  $\varnothing 14 \times 1$  мм, а в первой "теплой" секции -  $\varnothing 16 \times 1$  мм. Число витков спирали: в первой секции - 1,5; во второй - 5,5; в остальных по 6,5. Длина всех трубок в теплообменнике - 430 м. Общая поверхность теплопередачи - около  $12 \text{ м}^2$ .

На рис.2 показан теплообменник спутниного рефрижератора, подвешенный к крышке вертикального криостата. Под теплообменником расположен переохладитель гелия, подаваемого в магнит.

#### СХЕМА УСТАНОВКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Принципиальная схема спутниного рефрижератора представлена на рис.3.

Поток сжатого гелия  $\dot{m}$  охлаждается в теплообменнике 1 и дросселируется в гелиевый сосуд 7 криостата. Выходящий из гелиевого сосуда поток  $\dot{m}/1 + \alpha$  проходит теплообменник, счетчик 9 для измерения объемного расхода газа и направляется в компрессор. Избыточный поток  $\dot{m}\alpha$  определяется по скорости изменения уровня жидкого гелия в сосуде 7, а поток  $\dot{m}$  измеряется с помощью шайб с калиброванными отверстиями, установленных на входе в теплообменник. Имитатором нагрузки служит электронагреватель 6. Температура в точках 3 и 4 измеряется с помощью угольных термомет-

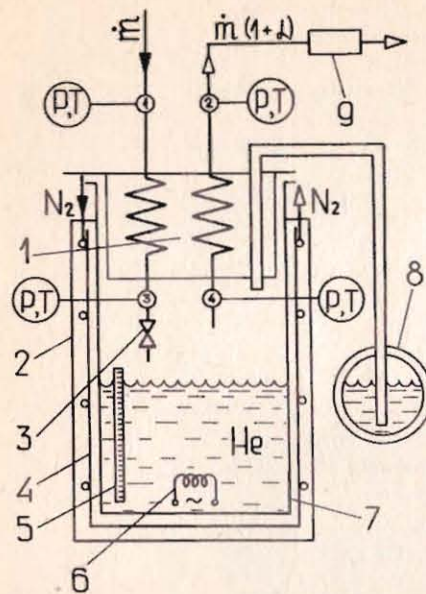


Рис.3. Схема спутниного рефри-  
жератора. 1 - теплообменник,  
2 - вакуумный кожух, 3 - дрос-  
сельный вентиль, 4 - азотный  
экран, 5 - сверхпроводящий дат-  
чик уровня, 6 - электронагре-  
ватель, 7 - гелиевый сосуд,  
8 - дьюар, 9 - счетчик для из-  
мерения объемного расхода газа.

ров сопротивления  $\text{ТВО}^{1/5}$ , а раз-  
ница температур между точками  
1 и 2 - с помощью медно-кон-  
стантановых термопар. Давление  
измеряется в местах установки  
термометров. Свободный объем  
криостата под теплообменником  
позволяет запастись  $\sim 250$  литров  
жидкого гелия. Пополнение сосуда  
гелием осуществляется из транс-  
портного дьюара 8.

Результаты экспериментального исследования спутниного рефри-  
жератора при давлении гелия перед дросселем  $P_3 = 1$  МПа приве-  
дены на рис.4.

Тепловая нагрузка спутника  $Q$  определялась из следующего  
уравнения:

$$Q = \dot{m} \left\{ (H_4 - H_3) + \alpha \left[ H_4 - \frac{(H_0' - H_0'' \rho_0'' / \rho_0')}{(1 - \rho_0'' / \rho_0')} \right] \right\}.$$

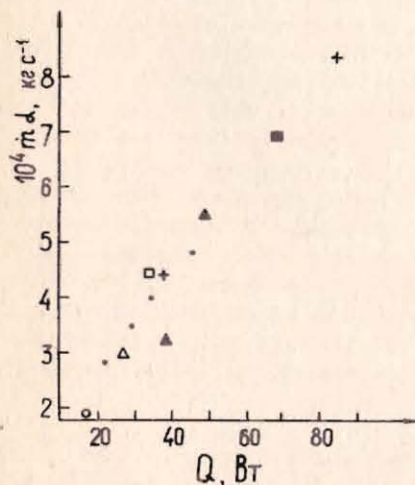


Рис.4. Зависимость избыточного  
потока гелия  $\dot{m}\alpha$  от тепловой  
нагрузки спутниного рефриже-  
ратора  $Q$  для различных значений  
массовой скорости  $10^3 \text{ м}^3 \text{ кгс}^{-1}$ ;  
0 - 0,97; ● - 1,9; Δ - 2,26;  
▲ - 2,9; □ - 3,2; ■ - 3,7; + -  
4,5. Давление перед дросселем  
 $P_3 = 1$  МПа.



где  $\dot{m}$  - массовая скорость гелия, подаваемого компрессором,  $\text{кгс}^{-1}$ ;  $H$  - энтальпия,  $\text{Дж кг}^{-1}$ ;  $\alpha$  - относительная доля избыточного потока;  $\rho$  - плотность,  $\text{кг м}^{-3}$ . Индексы 3 и 4 соответственно относятся к потоку сжатого гелия на выходе и гелия низкого давления на входе в теплообменник, индекс 0' - кипящая жидкость, 0'' - пар на линии насыщения.

Энтальпия и плотность гелия определялись из [6] по температуре и давлению, измеряемым в соответствующей точке /см. рис.3/.

Погрешность в определении энтальпии не превышает  $\pm 5\%$ . Погрешность в определении избыточного потока гелия  $\dot{m}\alpha$  не превышает  $\pm 8\%$ , а при измерении газовым счетчиком -  $\pm 2\%$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов А.А. и др. ОИЯИ, 9-83-625, Дубна, 1983; Smirnov A.A. et al. Journal de Physique, colloque C1, supplement au N1, 1984, T.45, p. 279.
2. Агапов Н.Н. и др. ПТЭ, 1981, №2, с. 196; Agapov N.N. et al. Cryogenics, 1980, vol. 20, No 6, p. 345.
3. Bondarenko V.I. et al. Cryogenics, 1981, vol. 21, N2, p. 105.
4. Baldin A.M. et al. IEEE Trans. on Nuclear science, 1983, vol. NS-30, No 4, p. 3247.
5. Дацков В.И. ПТЭ, 1981, №4, с. 253.
6. Mc Carty R.D. NBS (USA) Technical Note 631, 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 июля 1984 года.

Дьячков Е.И., Кузичев В.Н., Ходжибагиан Г.Г. P8-84-548  
Сателлитный рефрижератор для испытаний сверхпроводящих магнитов с принудительной системой охлаждения

Описывается рефрижератор с избыточным обратным потоком, потребляющий при своей работе жидкий гелий от оживителя. Сателлитный рефрижератор с номинальной холодопроизводительностью 50 Вт выполнен по дроссельной схеме без детандеров. Теплообменник сателлита с общей поверхностью теплопередачи  $12 \text{ м}^2$  размещен в вертикальном криостате с внутренним диаметром 0,8 м и высотой 2 м. Приведены схема и результаты экспериментального исследования сателлитного рефрижератора.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергия ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

#### Перевод авторов

D'yachkov E.I., Kuzichev V.N., Khodzhbagiyan H.G. P8-84-548  
A Satellite Refrigerator for Testing Superconducting Magnets with a Forced Cooling System

A refrigerator with flow imbalance is described. The refrigerating capacity of the Joule-Thomson satellite refrigerator is 50 W. The heat exchanger of the satellite with a total heat transfer surface of  $12 \text{ м}^2$  is placed inside a vertical cryostat with an internal diameter of 0.8 m and 2 m in height. A schematic diagram and results of an experimental study of the satellite refrigerator are presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984